

欧州諸国の廃棄物処理等の事情について

Report on Waste Treatments & c. in Europe

小林 進

1 はじめに

ヨーロッパ各地の都市ごみ・下水等の処理状況、処理施設、再資源化・エネルギー回収の状況、汚泥処理処分について、また水質保全・クリーンエネルギー等についても見聞する機会をもつことができた。約2週間でヨーロッパ5か国を訪問するという駆け足の旅行であったが、各分野で多くの知見を得ることができたので報告する。

2 訪問都市

ハンブルク（西ドイツ）、ミラノ・フィレンツェ・ラルデレロ・ローマ（イタリア）、ジュネーブ（スイス）、パリ（フランス）、ロンドン（イギリス）。

3 主な調査項目

3・1 都市ごみの処理処分

1963年（昭和38年）以降、日本の都市ごみ処理処分は、焼却することにより、ごみの減量化・腐敗有機物の安定化・無害化を計り残灰を埋立てる方法をとることが原則となっている。1982年現在、焼却率は全国で65.3%、埼玉県では76.4%となっている。他方、資源化率は全国で0.1%、埼玉県でも4.3%と少なく、また、電力・蒸気などのエネルギー回収も一部で焼却排熱を発電・地域冷暖房・給湯等に利用しているにすぎない。ごみを焼却して得られる潜在的な発電能力は463MWもあるといわれ、エネルギーの有効利用という立場から、発電・蒸気の利用を進める必要を感じる。

そこで、エネルギー回収・再資源化等を積極的に行い、広く応用しているヨーロッパについて、その状況・運営形態・ごみ組成と排出量・大気汚染の問題・残灰

の処理や有効利用などに特に留意して調べた。

3・2 下水処理処分

我が国では古くから下水の嫌気性消化法が、汚泥の減量・安定化を目的として採用されてきた。しかし、処理場用地の制約、最終処分場用地の確保の困難さ、焼却技術の向上などにより下水汚泥の消化は年々減少し、焼却処理される比重が高くなっている。今後も、汚泥処分用地確保の困難さから焼却の位置付けが更に高まると考えられる。

しかしながら、焼却処理はエネルギー多消費型のプロセスのため、省資源・省エネルギーの立場からも再び嫌気性消化が従来にも増して注目され始めており、消化プロセスの効率化・メタンガス利用システムの研究などの必要性がいわれている。

そのため、汚泥消化のヨーロッパでの状況、施設における前処理方法、発生ガス・電力の利用方法、残渣の質・量・処分方法などを主として調査した。

3・3 その他

水道等の水資源保護・開発、水質管理、水質汚染の問題やクリーンエネルギーとしての地熱発電と環境問題などについても調べた。

4 ハンブルグ（西ドイツ）

ハンブルグは正式名称を「自由ハンザ都市ハンブルク」といい、西ドイツの北部、エルベ河畔にあり、市自体が連邦の1州を構成している。ハンザ同盟に加入以来のヨーロッパ屈指の貿易港として知られ、造船をはじめ各種の工業が盛んである。

港はハンブルグのおよそ1/7を占め、貨物の積換量5千万トンと海船・河船のための70のシーバースをもつドイツ最大のものである。市内は緑が多く落ち着い

た雰囲気があり、清掃が行きとどき、整然とした感じの街並である。訪問した時はちょうど紅葉も終りに近づいた頃で、落葉が一ぱい路上に落ちておりこの落葉の清掃が大変な作業となるそうである。

4・1 ケールブラントヘフト下水処理場

1982年現在、ハンブルグの人口は1623万人あり、その内93%の152万人分はケールブラントヘフトとシュテリンガーモアの下水処理場で処理され、残り10万人分は浄化槽等で処理され単独に放流されている。

1961年に供用開始されたこの処理場は、ハンブルグ港の真中に位置し、港から上（北側）の処理区からの流入が限度一ぱいになったため、1973年に第1回目の増設が、1983年には最終計画の増設がなされている。このように、処理場は南と北の系列に別れており、北系列で67.6万人（41.7%）、南系列で57.2万人（35.3%）の処理人口がありハンブルグの総人口の77%を処理している。

ケールブラントヘフト処理場の平面配置図を図1にあげた。

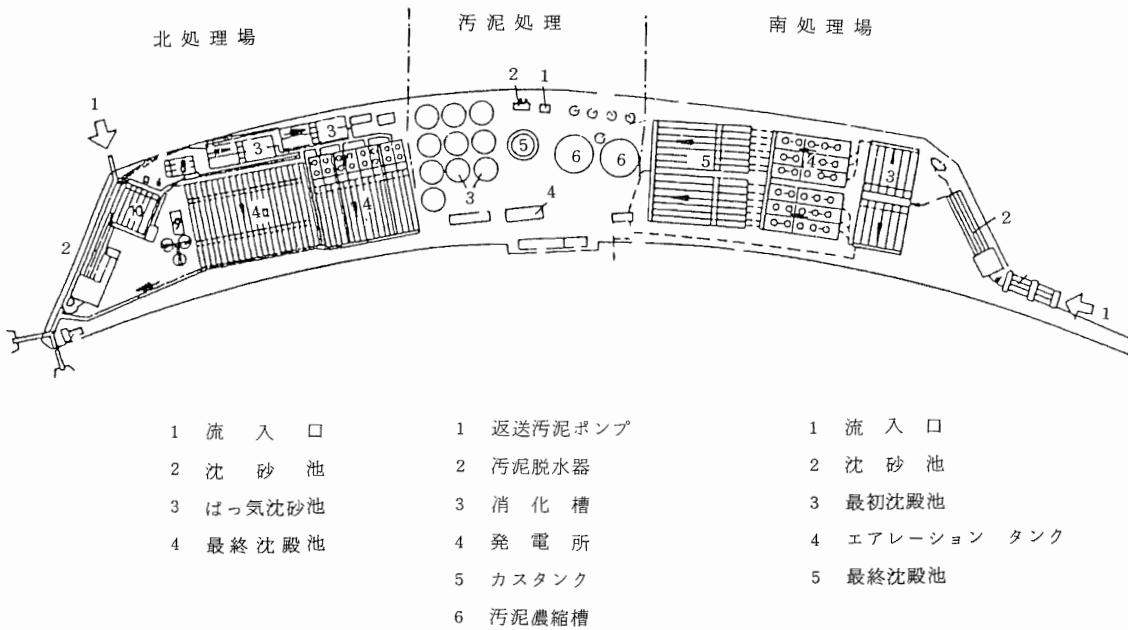


図1 ケールブラントヘフト下水処理場の平面配置図

4・1・1 水処理

この処理場では1日に約45万 m^3 の下水を処理し、その内25~30%は工場排水である。

水処理フローシートを図2に、処理水量と水質を表1に示した。1979年に施工された、新設処理場に対する排水規制値はBODで20 mg/l 、CODで100 mg/l 以下である。北処理場は対象外となるが、この新しい規制値をクリアするためと、エルベ川の酸素消費量を少なくするために高度処理を行う計画がある。これは、アンモニア性窒素を硝酸性窒素にして放流しようとするもので、流入水中にあるアンモニア性窒素35 mg/l を1~2 mg/l にして放流することを目指している。これによ

り、BODも5~10 mg/l になるものと予想している。

西ドイツの水質汚染に対する規制は1957年に成立した水管理法があるが、各州であまりに不統一であったため、1979年に排水基準が定められた（表2）。

4・1・2 汚泥処理

1983年の1日当たり汚泥発生量は、スクリーンし渣4565 m^3 、沈砂4500 m^3 、生汚泥2213 m^3 （シュテリンガーモア処理場分を含む）、生石灰添加後の消化汚泥257 m^3 （13万 $m^3/1983$ 年）であった。

汚泥処理フローを図3に示す。

汚泥の処分は現在トラックで埋立地に輸送して行っているが、供用開始した1961年から20年間は海洋投棄

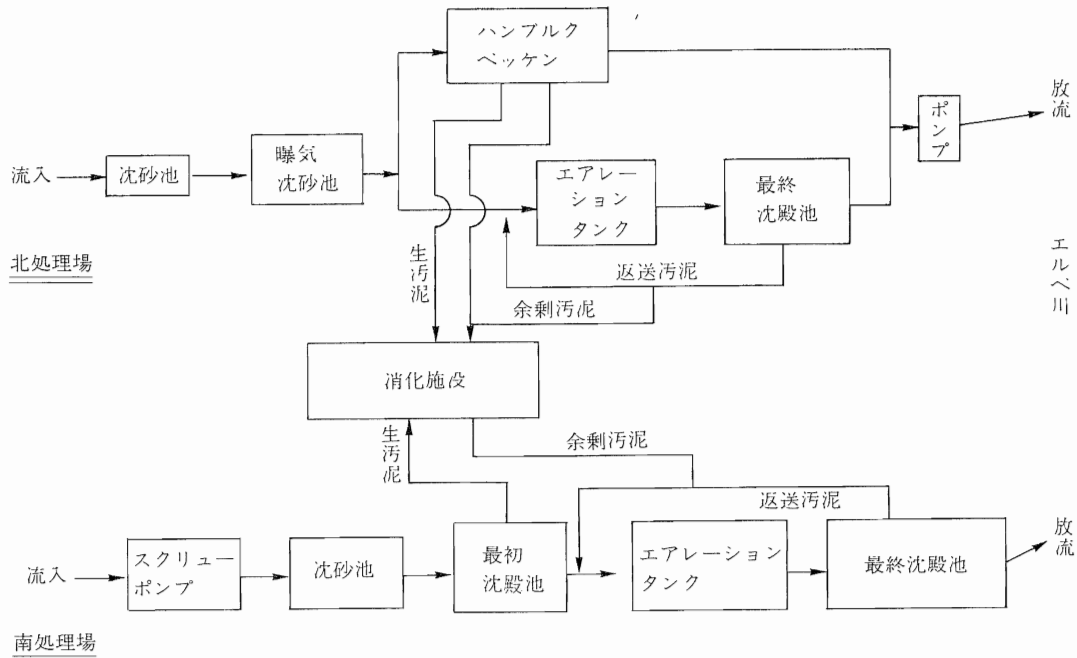


図2 ケールプラントヘフト下水処理場の水処理フローシート

表1 ケールプラントヘフト下水処理場の処理水量と水質 (1983年)

処理水量	北 処 理 場		南 処 理 場	
	流入水	放流水	流入水	放流水
処理水量	24.3万m ³ /日		13.4万m ³ /日	
BOD	332	76	252	25
COD	1017	207	730	98
Cd	<3	<1.5	<2	<2
Pb	118	24	70	20
Cu	533	89	445	100
Zn	897	184	570	250
Cr	159	32	53	25
Ni	57	24	92	45
Hg	ND	ND	ND	ND

単位;BOD, CODはmg/l
他はμg/l
ND;不検出

してきた。後の2年間は大西洋の外海(北海)に投棄しなければならなくなり、コスト高となったために取り止めたものである。

しかしながら、現在の陸上埋立も輸送コストが高くなっており、将来的には焼却の方向に進まざるを得ないと考えているようであった。また、汚泥を農地還元することも計画している。5~6年前はカドミウムの

表2 西ドイツの排水基準

(1) 1978年12月31日までに建設が開始された施設

	SS(mg/l)	BOD(mg/l)	COD(mg/l)
1 検体当たり瞬間値	0.3	—	—
2 時間平均値	—	200	45
1 日平均値	—	150	30

(2) 1979年1月1日以後に建設が開始された施設

		SS(mg/l)	BOD(mg/l)	COD(mg/l)
		第一種	1 検体当たり瞬間値	0.3
	2 時間平均値	—	180	45
	1 日平均値	—	120	30
第二種	1 検体当たり瞬間値	0.3	—	—
	2 時間平均値	—	160	35
	1 日平均値	—	110	25
第三種	1 検体当たり瞬間値	0.3	—	—
	2 時間平均値	—	140	30
	1 日平均値	—	100	20

第1種; 原水のBOD60kg/日未満
第2種; 60~600kg/日
第3種; 600kg/日以上

含有量が27mg/lもあったが、現在は消化汚泥中の金属濃度は規制値をクリアしている(表3)。

4.1.3 汚泥嫌気性消化によるエネルギー回収

生汚泥・余剰汚泥は濃縮槽で濃縮され、8000m³の消

表4 ECの飲料水水質基準 (1980年7月15日)

項目	最適基準	最大許容基準	項目	最適基準	最大許容基準	項目	最適基準	最大許容基準
色度 mg/l	1	20	KMnO ₄ 消費量 (mg/l)	2	5	ニッケル(ug/l)		50
pt/°Co			S. E. C "	0.1		鉛 "		50
濁度 mg/l	1	10	溶存炭化水素 (ug/l)		10	アンチモン "		10
SiO ₂			フェノール "		0.5	セレン "		10
におい			ほう素 "	1000		農薬 "		0.5
12°Cの溶解物	0	2	LSS "		200	芳香族炭化水素 "		0.2
25°C "	0	3	有機塩素化合物 "	1		全大腸菌/100ml		0
味			"			ふんへん性大腸菌 "		0
12°Cの溶解物	0	2	Fe "	50	200	ふんへん性連鎖球菌 "		0
25°C "	0	3	Mn "	20	50	水道水中の全細菌/ml		
温度(°C)	12	25	Cu "	100				
pH	6.5~8.5		Zn "	100				
EC(°S _{20°C})	400		P "	400	5000			
Cl ⁻ (mg/l)	25		F "			22°C	100	
SO ₄ ²⁻ "	25	250				37°C	10	
Ca "	100					びん詰め		
Mg "	30	50				全細菌/ml		
Na "	20	175				22°C	20	100
K "	10	12	Ba "		100	37°C	5	20
Al "	0.05	0.2	Ag "		10			
蒸発残留物 (mg/l, 180°C)		1500	As "		50			
NO ₃ ⁻ (mg/l)	25	50	Cd "		5			
NO ₂ ⁻ "		0.1	シアン "		50			
NH ₄ ⁺ "	0.05	0.5	Cr "		50			
N "		1	水銀 "		1			

表5 西ドイツの水質基準 (TVO)

項目	水質基準(mg/l)
ヒ素	0.04
鉛	0.04
カドミウム	0.006
クロム	0.05
シアンイオン	0.05
フッ素イオン	1.5
硝酸イオン	90
水銀	0.004
セレン	0.008
硫酸イオン	240
亜鉛	2
多環芳香族炭化水素	0.00025

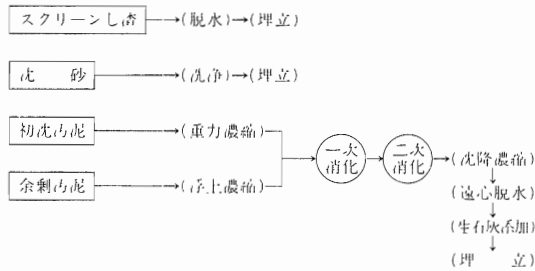
5000万m³の地下水と10億m³のエルベ川の水を主として冷却水として使用している。この場合は5ペニヒ/m³と安く、工場に水道局の水を買わせにくい原因となっている。工場で使用する地下水で良質のものは、30年毎の地下水使用更新許可の際に上水にまわすようにしているとのことであった。

4・2・2 水道水質

水道の水質基準にはECの飲料水水質基準(表4)や西ドイツ連邦独自の飲料水基準(TVO;表5)がある。

ハンブルグの水道水質はCOD(5mg/l以下)、鉄(1~20mg/l)、マンガン(0.1~2mg/l)、硬度(5~150ドイツ単位)、塩類(150mg/l)などである。

有機塩素化合物による地下水汚染の問題があり、最近も水源から5km程はなれた産業廃棄物(除草剤製造



(注)

消化槽投入固形分濃度	5%
消化日数	1次 20日 2次 5日
消化槽容量	8000m ³ , 10基
消化槽形式	卵形
消化温度	34.5℃
後濃縮形式	沈降
後濃縮固形分濃度	25~3%
遠心脱水後固形分濃度	25%
生石灰添加後固形分濃度	35%

図3 ケールプラントヘフト下水処理場の汚泥処理フロー

表3 ケールプラントヘフト下水処理場の消化汚泥に含まれる重金属濃度と汚泥農地還元の基準 (mg/kg固形物)

	消化汚泥	西ドイツにおける下水汚泥の農業利用に関する基準(1983年4月1日から)
鉛	—	1200
カドミウム	16	20
クロム	—	1200
銅	1000	1200
ニッケル	—	200
水銀	13	25
亜鉛	2500	3000

化タンク10槽で消化される(消化温度34.5℃)。

一次消化20日間、二次消化5日間の計25日消化が行われ、1日当たり6万1290m³の消化ガスが得られる。

消化タンクは円筒形・亀甲形などが一般的であるが、この処理場で使用している消化タンクはヨーロッパ、特に西ドイツで多く採用される卵形のもので、数々の有利な点が指摘されている。我が国でもここ数年来、積極的な技術導入が行われており、横浜市でこの方式を採用することになったようである。

卵形消化タンクの従来形に比べて有利な点として次のことがあげられている。

①消化槽上部が狭く水面積が小さいためスカムの発生面積が少なく、また、スカムの取り出しが容易である。

②形状からして折れ点が全くなく、小さなエネルギーで十分に攪拌でき、また、デッドスペースができていないため攪拌効率が非常に良い。

③消化槽下部の角度が90°前後と急なため砂分が集まり易く、汚泥中にかなり含まれる細砂の沈殿を除去するのが容易である。

④構造体として優れ、大形化が図れる。

⑤単位面積当たりの表面積が小さいので熱損失が少い。

1983年の消化ガスによる発電量は2750万kWh/年であったが、処理場消費電力3760万kWh/年をまかなうことはできないため、発電施設をディーゼル機関からガスタービンに変更して処理場必要電力の全てをまかなえるようにする計画がある。

4.2 ハンブルグ水道局

ハンブルグの水道・ガス・電気の供給は法律上、民間の会社によって運営されるが、市が会社の株を多く所有している。水道も有限会社組織で運営されるが、市が100%の株をもっている。ハンブルグ市と周辺の約200万人に水道を供給しており、プールの経営もやっている。

今回訪問した管理センターは歴史的に重要なところで、1848年ローマ水道の伝統を受けつぎハンブルグの水道が始まったところである。

4.2.1 水源

水道水源として、初めはエルベの河川水を取り、24時間貯留し濾過なしで使用していた。そのため、伝染病が多発し、特に1892年にはコレラの集団発生があり8000人以上が死亡したという。この時、アルトナ地区では濾過器を使用していたためコレラの発生がなかったことから、濾過器が取り付けられるようになった。

今世紀になり、エルベ川の汚染がひどくなったために、地下水の使用が始まり、現在まで続いている。

しかしながら、エルベの汚濁が激しくなると共に地下水が嫌気状態となり、鉄・マンガンが溶出してくるためその除去が大きな問題で、今は高速濾過装置を使用している。これは、酸素の注入を行ってから砂濾過して鉄とマンガンを除去する簡単なものである。

地下水は400の井戸から汲み上げられ、20の浄水場から5万km以上の水道管で供給される。年間の給水量は1億5000万m³あり、給水はコンピュータ制御されている。水道料金は12マルク79ペニヒ/m³に排水料金として2マルクを加えたものである。

他方、工業用水は工場が自給自足で行っており、

工場)の埋立地でダイオキシンが検出され大さわぎになったが地下水には検出されなかった。また、トリハロメタンで問題となっている井戸が1か所あり、ここでは塩素滅菌処理しており夏には25 μ g/l位となる。他は密閉した装置に貯水して、外部から有害物が混入するのを防いでいるため塩素は使用されず、トリハロメタンの問題はない。西ドイツにはトリハロメタンについての水道基準はないが、飲料水で25 μ g/l以下にできるように指導している。井戸水を原水としているため、通常トリハロメタンは3 μ g/l位のようなのである。

なお、今後の水道の重要な課題として地下水の有機物汚染対策に重要な関心を示しており、現在、研究施設を建設中とのことであった。

ハンブルグ水道局で今、問題となっているものとして次の4点があげられていた。

- ①エルベ川は有害物質による汚染がひどく、このため、エルベ川に近い地下水の貯留槽が汚染される危険性が高い。
- ②産業廃棄物処分場からの地下水汚染が心配である。特に、規制がなかった当時には危険な産業廃棄物の投棄があったものと考えられている。
- ③地下500m以下にある地下水には下の岩塩の層からの塩が入っており、地下水の流れによる塩分の混入の恐れが高い井戸が40%位ある。
- ④地下水の汲み上げによる地盤沈下・植物影響に対する市民運動があり、汲み上げ量を少なくするよう要求している。

このような問題に対処するため、エルベ川の水汚染を少なくするよう働きかけてはいるが政治的な問題でもあり、その対策に苦慮している。また、市民への広報活動を活発に行い、水道料金の値下げや市民運動団体への説明なども行っている。

4.2.3 汚泥処理

汚泥は圧縮かたまりとして埋め立てていたが、産業廃棄物の汚泥と同じようにみえるために周辺住民の反対にあい、今は場内処理している。

この上水汚泥は、生石灰を多く含むため酸性土壌の改良に有効であり、また含有鉄分はかたい土壌を柔くする効果がある等、農地還元するのに最適である。そのため、現在クリンカーにする装置を開発しているところであった。

また、この汚泥を焼却したものは石灰分を多く含むため下水処理に使用できると考えられ、実用化をめざして実験しているが、解決までには2～3年かかると

いう話であった。

5 フィレンツェ (イタリア)

フィレンツェは、人口64万人の北イタリア・トスカーナ地方の、ルネサンス文化発祥の地として知られる、歴史的に著名な主要都市である。落ち着いた、古い、風光の優れた街で多くの建築・美術品があり、日本の京都・岐阜とは姉妹都市となっている。

5.1 ラルデレロ地熱発電所

石油危機から後、エネルギー源の多様化が強く叫ばれ、第4のエネルギーとしてまたクリーンエネルギーとして、地熱が大きくクローズアップされてきている。

世界最初の地熱発電所として知られるラルデレロは、ローマの北西300km、フィレンツェの南約80kmの位置にある。ラルデレロが地熱地帯として認められたのは紀元3世紀頃といわれる。1818年、ラルデレロ卿によって噴気中に含まれるほう酸を利用した化学工場が作られてから、この地は彼の名にちなんでラルデレロと呼ばれるようになった。

1913年には初めて蒸気タービンによる250kWの発電が行われるようになり、現在では190MWに及んでいる。イタリアでは全発電量の1.1%を地熱発電に依存しているようである。

地熱発電は、地中深くにあるマグマによって熱せられた高温の天然蒸気を、ボーリング(坑井)によって地表に取り出し、蒸気タービンを回転させることにより電気を発生させるものである。

エネルギー資源と環境問題との関連から、米国や国連などでも地熱エネルギーの利用が提唱されており、技術開発が急速に進展している(表6)。

表6 世界の地熱発電

	出力 (MW)		主な地点
	既 設	建設(計画)中	
イタリア	420.6		ラルデレロ, モンテアミアタ
ニュージーランド	202	120	ワイラケイ
アメリカ	413	110	ガイザー
日 本	120	200	松川(岩手), 大岳(岩手), 鬼首(宮城), 大沼(秋田), 八丁原(大分), 葛根田(岩手)
アイスランド	17	3	ヘンギール
メキシコ	78.5	295	パセ, メキシカリ
ソ 連	113	330	パウジェック, 南カムチャッカ

5・2 環境問題

発生蒸気中の化学物質は、水 (950g/kg)、二酸化炭素 (48g/kg)、硫化水素 (0.54 g/kg)、メタン (0.53 g/kg)、ホウ酸 (0.22 g/kg)、アンモニア (0.15 g/kg) 等である。

ラルデレロでは大量の温排水の問題はなく、冷却塔から排出されるガスと、生成する凝縮水が環境問題に関係するものである。しかし、凝縮水は湧水力の減退した井戸などを使って地下に再注入し、還元するため問題はなく、これによりかえって蒸気滞留槽に水を補給することになると共に地盤沈下を軽減する効果も期待できるとしている。

また、まれに発生するラドン (^{222}Rn) の放出については現在、特に問題となっておらず、もし発生してもこの核種が比較的短寿命のため(半減期3.8日)地下再注入による還元で解決すると考えている。

6 ローマ (イタリア)

ローマはチベル川に沿う、イタリアの首都である。市内には名所旧跡が多く、コロセウム・パンテオン・カラカラ大浴場などの遺跡や歴史的な建造物、美術品がありまたバチカン市国があることでも有名である。

6・1 ローマ市都市ごみ再資源化工場

ローマ市は人口291万人で、一般家庭廃棄物・公共市場・街路廃棄物等として1日約2000tのごみ排出量がある。これら廃棄物は東西南北の4地区にあるごみ処理場で処分される。

今回、訪問した施設はごみの再利用施設と堆肥化処理施設が隣接して設けられているところであった。

ローマ市では、ごみの収集・運搬はすべて市の清掃局が行う。ごみ処理はローマ市が作った処理施設で民間会社が行うことになっており、ローマ市66%、残りを民間という割合で管理している。

また、ローマ市でごみ再生利用にふみ出た理由として、廃棄物中に含まれる紙類(18%)と厨芥等の有機物(50%)の含有率が高いことがあげられていた。

6・1・1 ごみ再利用施設

1日約1000tのごみ処理能力をもつ。搬入ピットに入ったごみは、重さ・もろさ・電磁性・柔軟性・弾力性などの物理特性や形状・大きさの違いを利用した自動選別機で選別され、電気冷蔵庫のような粗大ごみや引きさかれたプラスチックバック等が除去される。次

いで蒸気消毒、重力・風力による分離(石など)、ドラムスクリーンによる分離、磁気分離が行われ、最終的にはパルパーに送られる。パルパーの中のタンクにはごみと水とを入れ、攪拌機で破碎・混合して沈降・浮上分離を行い、浮上するプラスチック類、沈降する厨芥類、中間の紙類とに分別する。

分別されたプラスチック類は、洗浄・粉碎・熱処理され顆粒状にして出荷され、廃棄物収集用のバッグに加工される場合が多い。

野菜・果物・残飯等の厨芥類は、洗浄・粗雑無機物の除去・滅菌・乾燥(含水率6~8%)・微細無機物除去・粉碎・ペレット化されたのち袋づめされ、動物飼料として牧畜業者に売却される。この飼料は栄養価がコーンミールの70%にも相当し、14~17%の蛋白質と7~9%の脂肪を含む。品質も一定しており、衛生学的・獣医学的にも問題がないものである。

紙類は圧縮脱水・殺菌後、含水率60%の紙パルプとして厚紙・包装紙・梱包厚紙等の原料となる。紙パルプの品質は季節変動も少なく一定であるが、再生紙パルプをどのようにして品質向上させるかが大きな課題となっている(プラスチック・金属・接着剤・ワックス・油脂・インク等の除去方法)。

電磁石により選別された鉄は150kgの鉄鉄のかたまりに加工されて出荷され、鉄筋コンクリートに使用する鉄線として主に使用される。

再利用不能物、紙パルプ洗浄工程や動物飼料プロセスで分離除去された不純物などは焼却プロセスにまわされる。しかし、不燃物や含水率の高い有機物、発熱量の高いプラスチック等が除去されているため、通常のごみ焼却に比べて有利な条件で運転でき、安定した熱的条件を生み出すといわれている。

焼却灰・粗大ごみ・街路廃棄物は埋立処分される(80cm~1mの廃棄物層につき30cmの覆土)。

6・1・2 ごみ堆肥化施設

搬入ごみはホッパからベルトコンベヤに移され、粗雑物除去後、直接トロンメル(回転発酵槽)に送入される。トロンメルは長さ27m、直径3mのロータリーキルン様のもので、24基あり、1日50tの処理をしている(図4)。鉄製ドラムがローラーに乗って昼夜連続してゆっくり回転している。

このトロンメルは入口側から出口側に10°前後の勾配があるため、ごみは回転により混合されながら、またごみ相互の摩擦等により破碎されながら出口側へと移動する。ごみは速やかに発酵して60~65℃となり分

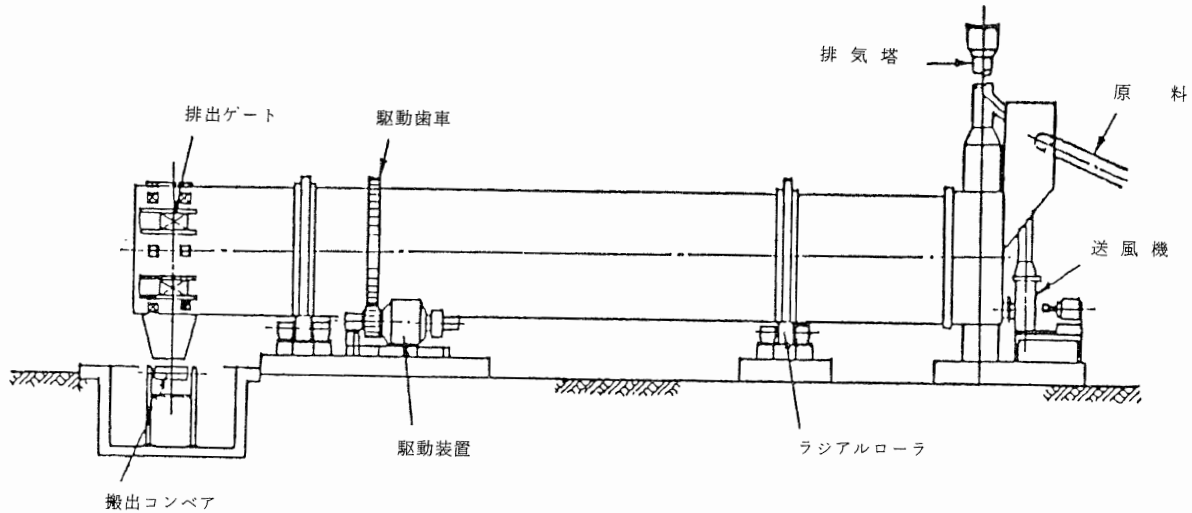


図4 ローマ市都市ごみ堆肥化施設のトロンメル

解・減量化・安定化する。トロンメルのごみの滞留時間は72時間である。

発酵後のコンポストはふるいにかけて、堆肥と金属・陶器・ガラス・木片・繊維・プラスチックに分け、さらに硬度による分離器（傾斜した鉄板上に少しずつ落ちてやり、落下時の衝撃ではね飛ぶ距離が違うことを利用し、距離別におのおのをホッパに受けて分離する）により分離する。堆肥は養生室へ送り込まれ約2週間養生される。

最後に熱風乾燥・殺菌を行い、含水率10%のペレットとして農家に売却される。ペレットにしたことにより、貯蔵・悪臭・運搬などの問題が解決されたという。

7 パリ（フランス）

7.1 イヴリー都市ごみ焼却場

パリ市は人口250万人、年間およそ150万トンのごみを排出する。パリ市のごみ質は紙類（42%）、プラスチック類（8～9%）、植物性ごみ（15%）、と紙類が多くなっており、これはパリに本社を持つ会社が多いため紙類の占める割合が高くなっているもので、焼却熱の再利用を可能にしている。

30年前頃は植物性ごみとガラス類が多く含まれていたため高速堆肥化していたが、ごみ質が変化するにつれ堆肥化ができなくなり投棄埋立してきた。近年、パリ郊外への人口流入が激しくなるにつれ、埋立地周辺での環境問題をめぐって投棄への反対が大きくなり、

現在はごみのほとんどを焼却している。

これらごみの処理はフランス電力公社（EDF）の都市廃棄物産業処理局（TIRU）が行っている。TIRUはサントワン、イッシュームリノ、イヴリー、ロマンヴィル（現在は中継基地として使用）の4つの処理工場をもっている。

また、パリは清掃工場の焼却排熱を地域暖房に合理的に利用している都市として有名で、パリ市とEDFの共同出資会社である「パリ市熱供給公社（CPCU）が1950年来、熱供給を行っている。CPCUによる熱供給は、3か所のごみ焼却場と7か所のCPCU工場で生産する蒸気を使用して行われており、その供給網はパリ市全域に及び、配管は300kmにも達している。

パリ市における都市ごみ有効利用は次のようになっている。

- ①TIRUのごみ焼却場からは、直接、蒸気の形でCPCUとサントワンにあるASTHOM工場に送られる（約600円/t）。
- ②回収電力のうち余剰分はEDFの電力網に送られる（3円/1kW）。
- ③焼却後の固形廃棄物（スラグ）は焼却量の約30%を占めるが、主として道路基盤材として用いられる。
- ④くず鉄はスラグから磁気選別器で選別分離され、回収くず鉄として売却される。
- ⑤フライアッシュは採石跡地の緑地保全のため、跡地を埋めることに使用される。

表7 パリ市のごみ処理事業(1983年)

受入量	パリ市		1067238t
	パリ市以外		793797t
	産業廃棄物		97187t
	合計		1958222t
処理処分量	焼却	サントワン焼却場	403779t
		イッシレムリノー焼却場	562462t
		イウリー焼却場	748456t
		小計	1714697t
	埋立	229648t	
売却量	電気(EDF)	イッシレムリノー焼却場	31504MWh
		イウリー焼却場	88016MWh
		合計	119520MWh
	蒸気	サントワン焼却場・CPCUへ	551865t
		ALSTHOMへ	39845t
		イッシレムリノー焼却場・CPCUへ	928700t
		イウリー焼却場・CPCUへ	1252467t
	合計	2772877t	
	スラック	サントワン焼却場	59457t
		イッシレムリノー焼却場	109772t
イウリー焼却場		189379t	
合計		358608t	
くす鉄	焼却灰からの回収	12819t	
	イッシレムリノー焼却場		
	イウリー焼却場	11990t	
	粗大ごみからの回収	2679t	
合計	27488t		

表8 イヴリーごみ焼却場の運転実績(1983年)

処理廃棄物量	757910t
焼却量	748456t
電気売却量(EDFへ)	88016MWh
蒸気売却量(20bars, 230℃)	1252467tをCPCUへ
スラック売却量	189379t
くす鉄売却量	11990t
焼却コスト	38フラン(約2400円)/t

EDFの運転実績(1983年)を表7に示した。

7.1.1 イヴリーごみ焼却場の概要

イヴリーごみ焼却場における1983年の事業成績を表8に、工場設備等について表9に示した。

投入ごみは平均35%の水分を含んでいる。燃焼ゾーン出口温度は900~950℃で制御され、ボイラー出口温度は250℃となっている。CPCUへは15~20bars(280℃)で抽気蒸気を送られ、送気能力は時間当たり150

表9 イヴリーごみ焼却場の工場設備等

投入ケート	8.5mGL, 12ケート
ごみピット	9000m ³ , (24台のごみ運搬車が同時にピットに入れることができる。)
焼却炉(2基)	MARTIN型式 焼却能力 2400t/日 ごみ発熱量 1250~2500Kcal/kg 1時間当たり焼却量; 2500Kcal/kgのごみの場合 40t 2000Kcal/kgのごみの場合 50t
ボイラー(2基)	ボイラ能力 126t/時間 ボイラスチーム条件 96bars, 470℃
タービン	3段抽気復水タービン 蒸気条件 75bars, 470℃ 蒸気負荷 255t/時間
ジェネレーター	出力 64MW, 3000rpm
灰ピット	6000m ³
電気集じん機(2基)	95%除去
煙突	100mH(17m/秒排出, 最大29m/秒)

tである。フランスにおける都市ごみの焼却では、脱臭効果をあげるために炉内の燃焼ガス温度750℃以上、2秒以上の滞留が義務づけられている。

日本で問題となっている廃乾電池については、パリでは民間の企業が特別に回収しているためこの焼却場では問題となっていない。また、煙・灰中にダイオキシンが検出されたことがあるが、今は検出されていない。

ごみの分別収集に関しては家庭レベル、工場レベルとも実施していない。それは、工場で分別するとコストが高くなるため、焼却後に鉄を分別の方が合理的であると考えているためである。

ビン類の回収はパリ地区では別に、回収されており、パリから南へ13kmのランジスの処理工場で処理されている。

しかし、1983年からはブルゴーニュのワインのビンは生産地へ送られ再利用されるようになった。

プラスチックに関しては、現在、含有率が横ばいのためこれ以上悪くなることはないと考えられている。炉内温度が1000℃以上に上った場合は空気を多量に送り込んで調整するようになっており、これは1000℃以上になると炉内に付着物がつくとともに効率が下がるため、その防止策としてとられている処置である。

焼却による大気汚染の問題については、化学物質の

排出を減らすよう努力しているが、ECの段階での規制が必要であるとしている。特に、中央ヨーロッパでは塩化水素などの問題が多くなってきており、大気汚染への関心が高くなっている。この工場でもいろいろな除去装置の取り付けは可能であるが、これにより処理費用がトン当たり2倍近くになるため、今はためらっている状態である。したがって、住民の負担では重すぎるため国や県・市がこれらの投資をバックアップしなければ無理だろうと話していた。

芸術の国といわれるフランスの工場だけあって、工業美容（産業美容）に関するノウハウの蓄積が大きく、これからは周辺的美観をこわさないよう工場の外観等により一層配慮する必要から、建設費の増大を予想している。

8 ロンドン（イギリス）

テムズ川に象徴されるロンドンは、歴史と伝統が生きつづけるイギリスの首都である。また、イギリスは「大ブリテン及び北アイルランド連合王国」といわれ、イングランド・ウェールズ・スコットランド・北アイルランドからなる。

8・1 テームズ水機関

1973年、水法（Water Act）が成立し、これによりイングランドとウェールズにおける河川管理、水道事業、下水道及び下水処理等を10の水機関（Water Authority）で行うことになった。すなわち、一つの水機関が水の保全と水道供給、下水道及び下水処理、水質汚濁の制御、洪水防止、レクリエーション、漁業、内陸航行等に関する一切の責任を負うことになった。

我が国では、水源開発、河川管理、水質保全などはそれぞれ別個の機関が担当しており、利水の歴史的背景があるために水力発電、農業用水などの既得利権者の発言が極めて強く、イギリスの水機関のように水に関して一切の管理運営を行うことは不可能に近いだろう。

テムズ水機関は1974年に発足し、首都ロンドンを受け持つ最大規模のものであり、対象面積は13万km²、居住人口は1200万人である。また、職員数は1974年当初は1万2000名もいたが、現在は9800名と減ってきた。発足当初は半官半民の形で運営されていたが、1983年10月に国有化が決定され現在は環境省に属している。

8・1・1 水道水源

テムズ水機関の水道水源は、テムズ川（48.8%）、リー川（9.8%）、地下水（41.4%）となっており、地下水の利用が極めて大きい。地下水は硬度が300mg/l以上あり、これにより水道水中の硬度が高いことが特徴的である。

8・1・2 水道供給

給水人口は1200万人で、日平均給水量は約363万m³となっており、1人1日当たりの平均給水量は約300lである。

水道の供給は、河川を水源とした場合、日平均給水量の7日分以上を原水貯水池に確保し、この貯水池で浮遊物質の沈殿、細菌類を死滅させてから浄水場に移し浄水処理をする。また、この貯水池はヨット競技や釣りなど市民のレクリエーションの場としても利用されている。浄水場では、粗砂・マイクロストレーナー等を用いて一次濾過し、次いで緩速濾過により二次濾過を行う2段濾過方式で浄水処理をする。濾過水は直ちに塩素混和池に送られ塩素消毒され、配水池に貯留される。

特に注意すべきは下水処理水を還元して水道水に使用していることである。下水処理場で最高度に処理された処理放流水を、溪谷の乾燥した多孔質の地表にめぐらした水路網に通し、この地質を透過させて地下水を保存、利用している。この下水処理水の水道水への混合割合は平均11%、最大で33%にも達している。

8・1・3 水質保全

テムズ水機関は河川への排水規制を行っている。規制項目は水温・pH・酸・重金属などであるが、我が国のように規制値を全般的にあてはめる方法ではなく、個々の排出源との協議によって具体的な項目と規制値を決定するやり方をとっている。したがって、場所により排出源の実態に応じて規制値は異なっている。

下水処理場放流水の水質規制は、国の基準ではBOD20ppm、SS30ppmであるが、テムズ川の場合、最も厳しいものでBOD7ppm、SS7ppm、アンモニア態窒素5ppm以下になっている。

公共下水道への受入れ基準についても法令による一般的な基準はなく、処理場別の協議による基準となっている。

また、12年前まではテムズ川の汚染がひどくウナギしか棲息しなかったが、今では取水口で魚が沢山とれるようになり、昨年はサケが帰ってきたと喜んでいた（図5）。

Increase in fish species in Thames
between Kew and Gravesend (1964-1982)

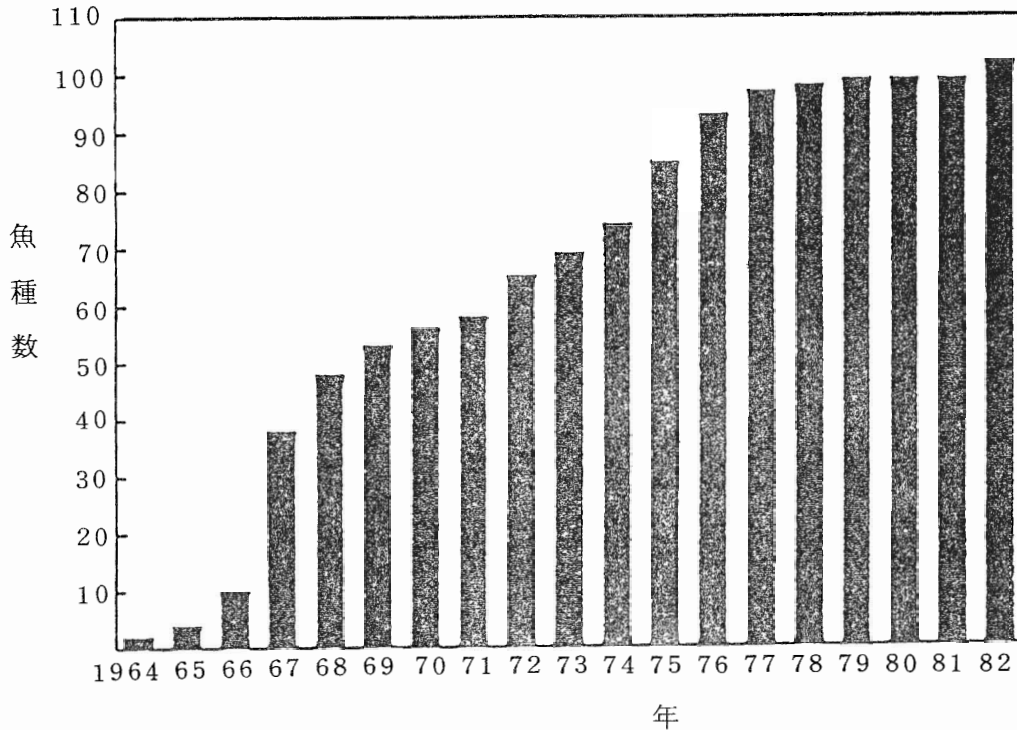


図5 テームズ川における魚類の増加

8・2 ベクトン下水処理場

この処理場はロンドン市の東、テムズ川の北岸にありイギリス国内だけでなく、ヨーロッパでも最大の下水処理場である(表10)。

ロンドンでは16世紀に下水道の始まりをみることができる。18世紀には有蓋化が行われるようになったが、当時の下水は無処理で満潮時にテムズ川へ放流するものであった。これにより、下水やし尿による河川の汚濁が進行したため、1860年代に北部及び南部の放流渠を設け、汚水をすべて市の下流まで運んで放流するようになった。しかし、下流域における汚濁が激しくなったために、北部放流渠では沈殿池を設けて沈殿処理を行うようになり、これがイギリスでの最初の下水処理となった(今回訪問したベクトン処理場の始まりである)。沈殿した汚泥は高架貯留タンクにポンプアップされ、汚泥運搬船で放流口より約96km沖合の北

海へ投棄された。

1930年代には活性汚泥法の処理施設が建設され、その後、前処理、汚泥処理、ガス発電等の導入が行われ今日に至っている。現在ではロンドン市に15の処理場が完備し、また普及率は100%となっている。

1974年4月からはテムズ水機関の外局となった。処理面積は300km²、処理人口240万人、処理水量986千m³/日(最大2700千m³/日)で、処理場面積は70haである。流入下水は一般家庭排水が約90%、残り10%が工場排水であり、下水排除方式は合流式で、処理区内の下水は自然流下で集まり、4か所のポンプ場から処理場へ送られる。

放流水質基準は、SS10ppm、BOD7ppm、アンモニア態窒素0.5ppm以下となっている。

処理場の平面配置図を図6に、また下水処理と汚泥処理のフローを図7に示した。

表10 ベクトン下水処理場の運転実績

GENERAL【全般】		
Average flow(平均流入量)	986,000m ³ /day	
Flow to full treatment(全処理流量)	As above	
Maximum rate of flow(最大流量)	2,700,000m ³ /day(600mgd)	
Annual rainfall(年間雨量)	531mm=20.9inches	
PRIMARY SEDIMENTATION PLANT【最初沈殿プラント】		
	Sewage	Settled sewage
Suspended solids(浮遊物質)	238mg/l	83mg/l
BOD	166mg/l	89mg/l
COD	397mg/l	197mg/l
Ammoniacal nitrogen(アンモニア態窒素)	18.8mg/l	19.9mg/l
Organic nitrogen(有機態窒素)	11.9mg/l	7.1mg/l
Detention(滞留時間)	3.0hours	
Surface loading(表面積負荷)	26m ³ /m ² /day	
Total crude sludge removed(全生汚泥除去量)	7,570tonnes/day	
Total solid contents of sludge(汚泥中の全固形分量)	2.8% @ 73.5%VM	
AERATION PLANT【エアレーションプラント】		
	Final Effluent(最終処理水)	
BOD(+ATU)	7mg/l	
Suspended solids(浮遊物質)	9mg/l	
Ammoniacal nitrogen(アンモニア態窒素)	2.1mg/l	
Oxidised nitrogen(硝酸性窒素)	12.7mg/l	
Organic nitrogen(有機態窒素)	1.6mg/l	
COD	38mg/l	
Detention time(滞留時間)	5.6hours	
MLSS	3,140mg/l	
Returned sludge flow(返送汚泥率)	58%	
Air supply(空気供給量)	8.5v/v	
Sludge age(汚泥日令)	8.9days	
Sludge loading(汚泥負荷)	0.13kgBOD/kgMLSS/day	
Detention in FSTs(最終沈殿池の滞留時間)	3.9hours	
Surface loading in FSTs(表面積負荷)	24m ³ /m ² /day	
Surplus activated sludge(余剰活性汚泥)	8,160tonnes/day @ 0.72%solids	
Effective oxygen load on river(河川に対する有効酸素負荷)	28tonnes/day	
SLUDGE DIGESTION PLANT【汚泥消化プラント】		
Thickened sludge input(濃縮汚泥流入量)	5,010tonnes/day	
Theoretical loading(理論負荷)	1.07kgVM/m ² /day	
Theoretical detention(理論滞留日数)	24days	
Crude sludge from PSTs(最初沈殿池からの生汚泥)	2.6%solids @ 74.5%VM	
Thickened crude sludge(濃縮生汚泥)	3.4%solids @ 75.1%VM	
Digested sludge(消化汚泥)	2.2%solids @ 64.6%VM	
Gas production(ガス生成量)	85,000m ³ /day	
Methane content of sludge gas(消化ガス中のメタン濃度)	66.5%	
SLUDGE DISPOSAL【汚泥処分】		
Total sludge to sea(全海洋処分消化汚泥量)	8,400tonnes/day @ 2.2%solids	
Sludge received from Deephams STW	1,130tonnes/day @ 2.1%solids	
Sludge received from Riverside STW	782tonnes/day @ 2.0%solids	

Beckton sewage treatment works
Beckton Station d'épuration des eaux
Beckton Abwasserbeseitigungsanlage
Beckton Impianto di Depurazione delle Acque di Fogna

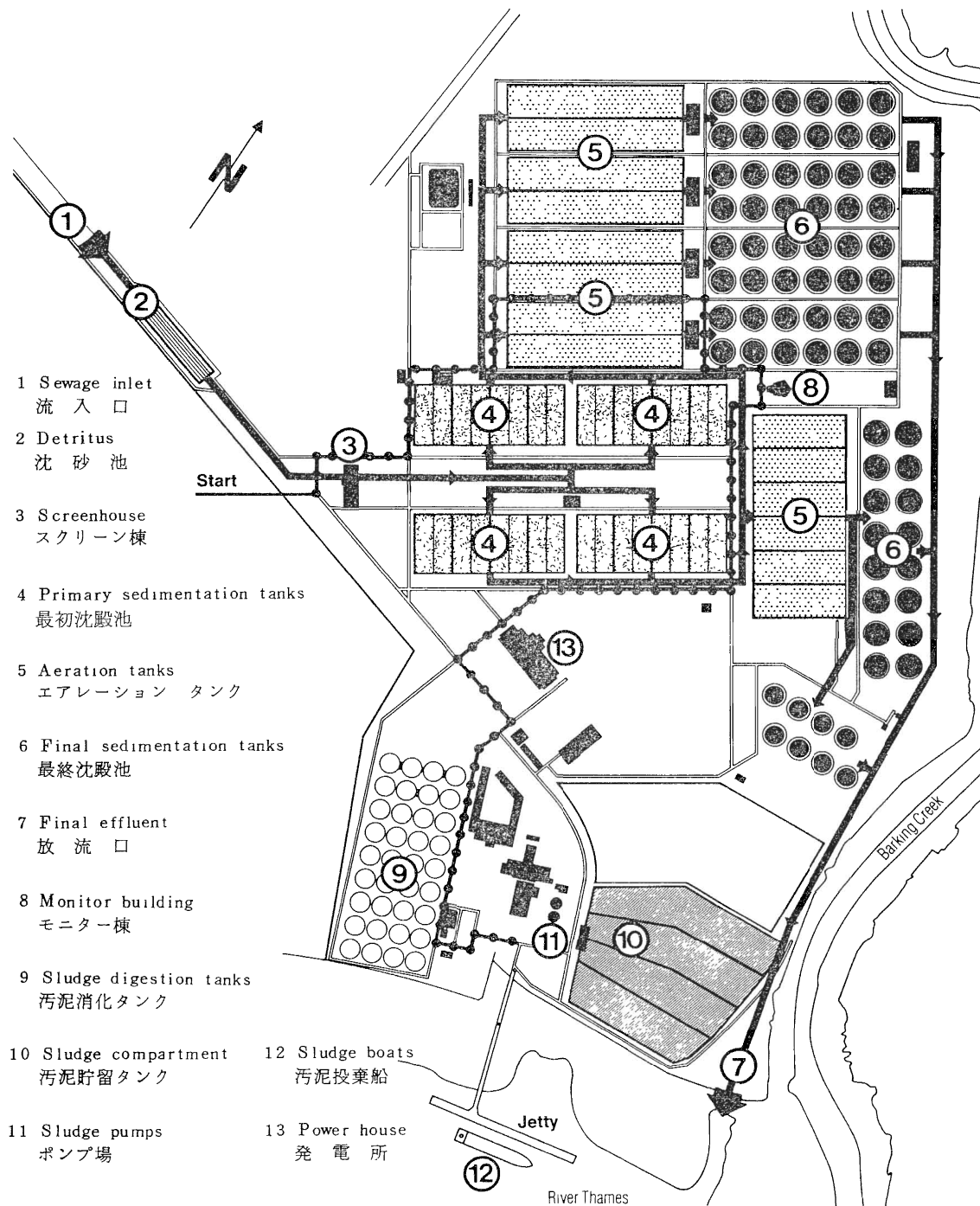


図6 ベクトン下水処理場の平面配置図

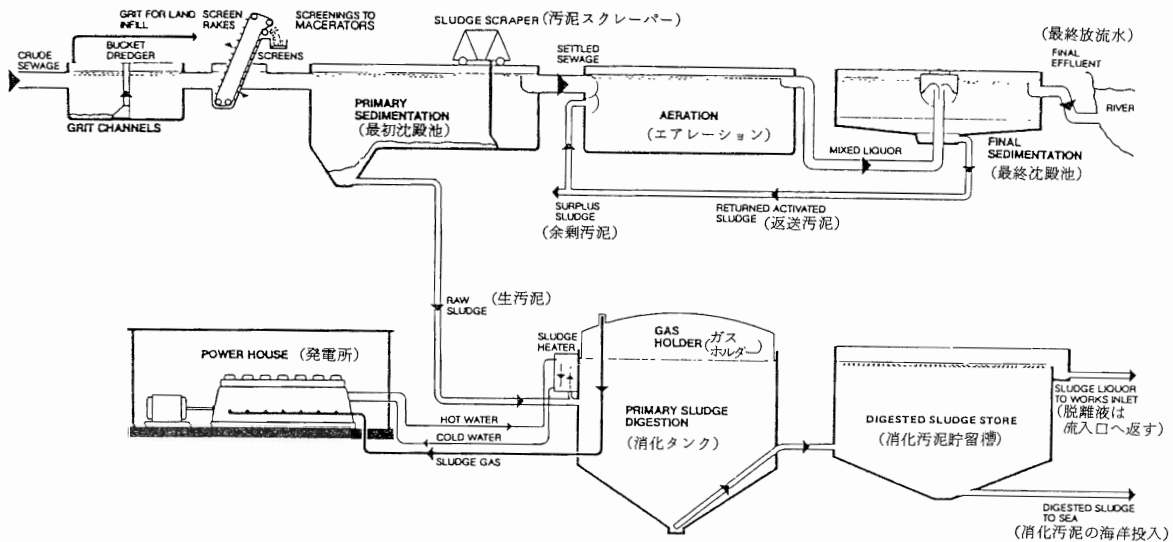


図7 ベクトン下水処理場の処理フロー

8・2・1 下水処理

流入下水は5本の下水道管から沈砂池へ入り、沈砂の後スクリーン処理される。次いでエアレーション水路を通過して横流式の最初沈殿池に流入する。ここで沈殿した汚泥は電動式レール走行スクレーパによって集泥され、一次消化タンクへ圧送される。

下水はさらにエアレーションタンクでディフューザ・ドームによる全面エアレーションが行われた後、円形の最終沈殿池へ送られて沈泥後、テムズ川に放流される。最終沈殿汚泥は電動式スクレーパにより集泥され、返送汚泥としてエアレーションタンクに圧送される。

沈砂池から排出される砂量は3万m³/年で場内埋立されている。最初沈殿池では、下水は約3.5時間沈殿されSSの約70%、BODの50%が除去される。エアレーションは5.4時間である。また、最終沈殿池では3.4時間沈殿が行われ、余剰汚泥はプリアレーション水路の人口側で下水中に返される。

8・2・2 汚泥処理

濃縮タンクに圧送されてきた最初沈殿池からの引抜汚泥は、濃縮されてから消化タンクで約34℃、4週間消化される。消化汚泥は汚泥貯留タンクへ移され、ここでデーラム及びリバーサイド下水処理場からの消化汚泥と一緒に、処理場から約96kmはなれた北海に海洋投棄される(図8)。

消化タンク内の脱離液はスクリーンの上流にもどさ

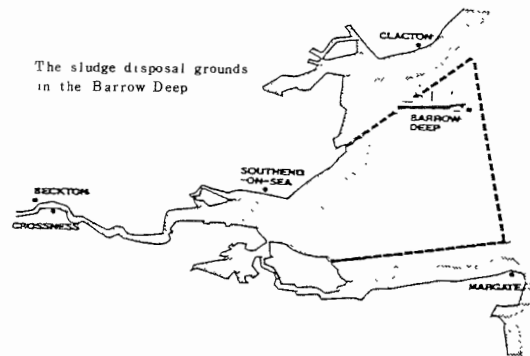


図8 ベクトン下水処理場消化汚泥の海洋投棄

れる。消化ガスの発生量は1日当たり8万5000m³あり、ガスタービン用燃料として使用される。これにより、処理場使用電力の約60%が自給できる。

消化汚泥の発生量は1日当たり8400tあり、これとデーラム下水処理場からの1130tとリバーサイド下水処理場から圧送されてくる782tを、2200トン級4隻、2700トン級1隻の計5隻の汚泥運搬船で1日、朝・夕各1回の割合で海洋投棄している。

海洋投棄される海域は、環境省により定期的に調査されるほか、農業漁業省によっても魚類中の重金属濃度の監視が行われている。

ところで、ベクトン下水処理場は汚泥と海洋投棄処分しているが、ロンドン全般では、発生した汚泥の

70%が海洋投棄され、残り30%は農地還元されている。

農地還元する場合の重金属許容濃度としては、汚泥を農地に投入・混合してから、土壌中の亜鉛相当濃度（亜鉛・銅・ニッケルの含有量を示す値）が250ppmを超えないことという規定がある。これは、土壌中の重金属濃度を植物毒性と関連づけた指標であり、作物の生育に悪影響を及ぼし易い金属として亜鉛・銅・ニッケルを考え、銅は亜鉛の2倍の、また、ニッケルは亜鉛の8倍の毒性を有するものとして、次のように汚泥中の亜鉛相当濃度を定めた。

$$\text{亜鉛相当濃度} = \text{亜鉛濃度} + (2 \times \text{銅濃度}) + (8 \times \text{ニッケル濃度})$$

(ppm) (ppm) (ppm)

農地還元する場合の最大亜鉛相当濃度を示した基準を表11にあげた。英国では、pH 6.5以上の畑、pH 6以上の牧草地において亜鉛相当重量の合計が560kg/haに達するまで、作物の影響はないと考えられている。

表11 汚泥を農地還元する場合の最大亜鉛相当濃度（英国）

投棄回数	投 棄 量 (固形物 t)					
	5	10	20	30	40	50
毎 年	1510	750	370	250	190	150
2 年毎	3020	1510	750	500	380	300
3 年毎	4530	2260	1110	750	570	450
4 年毎	6040	3020	1510	1010	750	600
5 年毎	7550	3770	1880	1260	940	750

表12 英国での農地還元のための汚泥投入許容量

	未汚染土壌の場合(mg/l)	許容最大蓄積量(kg/ha)
亜鉛	2.5 ^{a)}	560
銅	5 ^{a)}	280
ニッケル	1 ^{a)}	70
亜鉛相当	20.5 ^{a)}	560
ホウ素 ^{b)}	1	4.5(初年), 3.5(次年から)
クロム	100	1000
カドミウム	1	5
鉛	50	1000
水銀	<0.1	2
モリブデン	2	4
ヒ素	5	10
フッ素 ^{c)}	200	600
セレン	0.5	5

(注)a)はEDTA可溶性金属量, b)は熱水可溶性, c)は溶融法の値で、他は強酸可溶性の金属の値である。

また、汚泥に含まれるカドミウム・鉛・水銀などの有害金属の投入施用限界量があり（表12）、さらに、ECでも限界値を提案している（表13）。

表13 ECで提案している農地還元汚泥の許容金属含有量 (mg/kg乾物)

	汚 泥		土 壌		施用の年間投入量 (kg/ha)	
	規制値	推奨値	規制値	推奨値	規制値	推奨値
カドミウム	40	20	3	1	0.15	0.10
銅	1500	1000	100	50	12	10
ニッケル	400	300	50	30	3	2
亜鉛	3000	2500	300	150	30	25
鉛	1000	750	100	50	15	10
クロム	—	750	—	50	—	10
水銀	—	16	—	2	—	0.40
ヒ素	—	—	—	20	—	0.35

9 おわりに

都市ごみの処理処分については、ローマ市都市ごみ再資源化工場とパリー市イヴリーごみ焼却場を見学することができた。都市ごみの有効利用は、焼却による熱エネルギーの回収と、再利用再資源化を中心とした物質の回収とに大別される。パリー市では熱エネルギーの回収を、ローマ市では物質の回収を積極的にやっている。すべてごみ質とうまくマッチした有効利用方法をとっており、パリー市の地域暖房は世界的に有名となっている。さらに、回収物と需要との関係もうまくいっており、ごみ質・回収物・需要・流通などの問題をからめた有効利用方法をとることがいかに大切であるかを痛感した。

また、ヨーロッパでは、これから焼却場などの大気汚染の問題が大きくなるように感じられた。

イヴリー焼却場の人達が話していた、いわゆる迷惑施設の、外観などについての工業美容（産業美容）ということが特に印象に残った。

下水処理場を訪問してみて、どこも広大な敷地に大規模な施設を持っていることと、嫌気性消化ガス発電を行って処理場必要電力の相当量を自給していることが目についた。西ドイツのケールブラントヘフト下水処理場と、イギリスのベクトン下水処理場を見学したが、西ドイツでは卵型の消化タンクの有用性に、またイギリスでは消化汚泥の海洋投棄に、特に興味をひか

れるものがあった。

水道に関しては、ヨーロッパでは地下水を水源としているところが多いことと、河川の汚濁や有機塩素化合物等による地下水源の汚濁がやはり問題となっていることなどが印象に残るものであった。